

# PC를 이용한 GPS Simulation System 개발

양원재\* · 전승환\*\* · 박계각\*\*\*

Development of GPS Simulation Tool Kit for Personal Computer

*Weon-Jae Yang\* · Seung-Hwan Jun\*\* · G. K. Park\*\*\**

Abstract	목 차)
1. 서론	3. 시뮬레이션
2. 시뮬레이션 시스템 설계	4. 결론
	참고문헌

## Abstract

Ship's position data obtaining method is one of the very important factor in navigation. Nowadays, GPS(Global Positioning System) using the earth orbiting satellites are equipped and operated for the position finding. Because it provides more precise position information than other equipments and is very convenient for navigator.

In this study, it is designed to develop the GPS simulator for everybody being able to practise the GPS operating skill like as navigation planning, navigation calculating etc. And also, it can be operated with personal computer without real GPS receiver.

This simulation system is based on the real GPS receiver and built by the visual basic 5.0 program. And it displays the ship's position and navigating information and plots the ship's moving track on the screen in real time according as initial setup data-main engine's rpm, rudder angle, departure position and waypoint.

### 1. 서론

최근 선박의 안전성과 자동화를 고려한 수많은

항해용 전자장비시스템들이 개발되어, 여러 정보를 정확하게 실시간으로 제공하고 있다. 그리고, 세계 여러 나라에서는 이에 부응하기 위하여 범

\* 정희원, 한국해양대학교 대학원 박사과정

\*\* 정희원, 한국해양대학교 해사대학 교수

\*\*\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

적, 제도적, 교육적으로 해기사를 교육할 수 있는 시스템을 구축하고 있다. STCW(International Convention on Standard of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers)에서는 각종 시뮬레이터의 교육과 기준에 관한 지침 및 기타규정 1)을 명문화하고 있다. 또한, 관련연구기관 및 시뮬레이터 제작업체에서는 사용자환경에 더욱 가까운 시스템의 개발과 PC(Personal Computer)를 이용한 시뮬레이터의 개발에 관심을 갖기 시작하였고, Full Mission Bridge Simulator와 Part Task Simulator를 개발하고 있다. 아울러, 우리나라 해기관련 교육기관에서도 교육 프로그램의 일환으로 시뮬레이터를 이용한 교육을 활발히 추진하여, 국제무대에서 강력한 경쟁력을 가지는 우수한 해기사를 양성하고 있다.

한편, 선박의 정확한 위치정보를 파악하는 문제는 인류 역사에서 항해가 시작되면서부터 이어져 왔다. 이것은 충돌, 좌초 등의 해난사고를 미연에 방지하고, 선박운항에 있어서 항해거리를 최소화하여 항해시간을 단축하고 선박운항비를 줄이기 위한 것으로, 정확한 선박위치를 측정하기 위한 많은 항법 기술과 위치측정 시스템이 선박에 채택되었다. 이러한 시스템 중에서 GPS(Global Positioning System)는 로란-C, 데카, 오메가, NNSS, GLONASS, DGPS 등의 전파 및 위성항법시스템 가운데 하나로서, 지구궤도를 비행하는 인공위성으로부터 각종 데이터를 수신하여, 경·위도 등의 위치정보를 실시간 연속적으로 제공하여 주고 있다.<sup>2)3)</sup> 결국, GPS의 도입은 항해자가 효율적인 항해계획의 수립과 선박운항이 가능하도록 하기 때문에, 현재 선박에서는 필수적인 장비가 되어 있다고 할 수 있다.

본 연구는, Part Task Simulator의 하나로서 PC 이외의 별도장치가 필요 없이 독자적으로 실행할 수 있는 GPS 시뮬레이션 시스템개발에 관한 연구로서 차후 종합항법시뮬레이터에 연결하기 위한 것이다. 또한, 본 연구는 해상에서의 선박의 항행에 초점을 둔 것으로 누구나가 쉽게 실제 GPS가 아닌 PC상에서 시뮬레이션 시스템을 간단하게 실행하여 봄으로써 GPS에 관한 지식과 시스템의 이해를 화면상에 출력되는 각종 정보를 통해서 얻을 수 있도

록 하고, 관련지식을 축적할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 시뮬레이션 시스템 설계

시뮬레이션 시스템을 설계하기 전에 실제 사용되고 있는 Furuno, Transas, Philips, Trimble 등 다양한 종류의 수신기를 조사 연구하여, 수신기 기능, 구조 및 동작에 대한 것들을 파악하였다.

본 연구에서는 Micrologic Admiral GPS수신기를 기본 모델로 하고, 조사한 타종의 기능들을 고려하여 시뮬레이션 시스템을 구현하였다. 본 GPS 시뮬레이션 시스템은 시뮬레이터 개발 목적에 적합하도록 하기 위해서 모델로 삼은 GPS수신기 전체기능을 모두 화면상에 나타내지는 않았으며 필요한 주 기능만을 중점적으로 구성하였고, 선박운동방정식 수학모델을 이용하여 엔진텔레그래프, 타각, 초기침로 등의 입력정보에 의해서 계산된 속력, 침로, 새로운 경·위도 위치 등의 결과값을 PLOT, Position, Navigation, Waypoint 등의 화면상에 출력되도록 하였다.

### 2.1 시스템 자료의 흐름

시스템이 외부환경과 어떠한 관계가 있는지를 사용자와 시뮬레이션 시스템 사이의 상호 정보 교환에 초점을 두었고, 데이터가 시스템내부에서 각 절차에 따라 흐르면서 변환되는 과정을 자료의 입력, 처리, 저장 및 출력과정을 분석하여 시스템을 효율적으로 구축할 수 있도록 하였다.

Fig.1은 GPS 시뮬레이션 프로그램의 전체적인 변환과정을 나타낸 것으로 개인용 컴퓨터의 비주얼베이직 프로그램상에서 본 시뮬레이션 프로젝트를 선택하고, 프로그램이 컴파일링 된 후에 초기 입력치를 설정하면 그때부터 시스템이 실행된다. 그리고, 시뮬레이터 화면상에 설계된 각 기능버튼을 클릭하여 선택하면 해당 화면부분의 정보가 출력된다. 시뮬레이션을 중단하고자 할 때에는 정지버튼을 마우스로 클릭하면 실행을 중단되고 프로젝트가 종료된다. 이상과 같은 과정을 거쳐서 본

프로그램이 실행되도록 하였다.

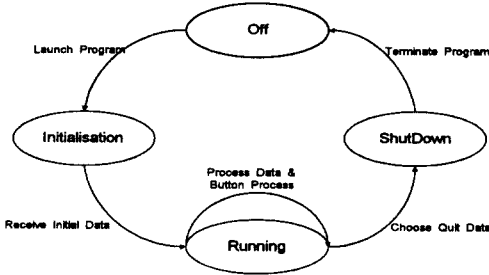


Fig. 1 State Transition Diagram for GPS Simulator

2.2 항법계산

점장위도항법으로 항정선 위를 항해했을 때 점장위도 위에서의 침로(C), 변경(DLo), 점장변위(m) 등의 관계<sup>4)</sup>는 Fig.2와 같다. 그리고, 식(1), 식(2) 및 식(3)은 위의 세가지 요소가 이루는 관계를 식으로 나타낸 것이다.

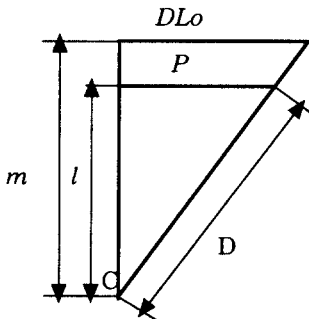


Fig. 2 Mercator Sailing

$$l = D \cos C \dots\dots\dots(1)$$

$$D = l \sec C \dots\dots\dots(2)$$

$$DLo = m \tan C \dots\dots\dots(3)$$

단, l은 변위, C는 침로, DLo는 변경, m은 점장변위, D는 항정  
 식(1), 식(2) 및 식(3)을 이용하여 출발지 경위도

와 도착지 경위도를 알고 침로와 항정을 구하는 프로그램을 함수로 만들어서 본 연구의 GPS 시뮬레이션 시스템에 활용하였다.

Fig.3은 항법계산 프로그램의 입력에서부터 출력과정을 개략적인 도식으로 나타낸 것으로, 입력 부분은 출발지점과 도착지점의 경·위도이고 내부 프로그램에서는 두 지점의 변위·변경계산과 부호 결정, 중분위도계산, 침로각·침침로 계산, 거리를 계산한 다음에 침로와 거리를 출력하여 준다.

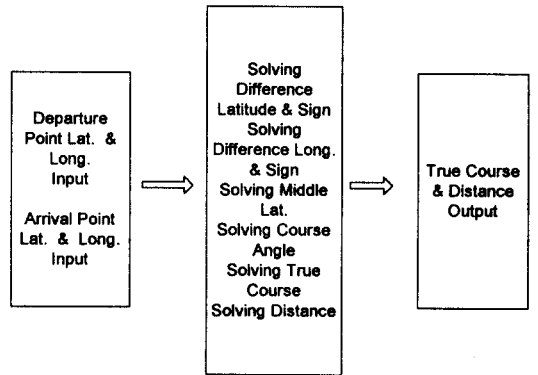


Fig. 3 Diagram of Sailing Calculation

매초마다 선박 운동방정식 함수의 계산에 의해서 엔진값, 타각을 입력하면, 본선의 속력과 방향이 결정되고, 그 결과 선수미 및 정횡방향의 이동 거리와 회두각이 계산되어 본선위치인 경위도로 화면상에 선박의 현위치 표시되며, 지정한 변침점 또는 목적지를 마우스로 클릭하면 변침점, 목적지와 클릭당시의 선박의 위치가 본 항법계산 프로그램과 내부적으로 연계되어 실행되고, 그 결과값을 GPS 시뮬레이터 화면상에 (NAV, WPT화면) 선택한 변침점, 또는 목적지까지의 항행거리 (Distance), 침로(Course)가 표시되도록 설계하여 구성하였다.

2.3 선체운동과 선박의 위치

2.3.1 선체운동의 수학모델

선박이 부두점안 및 묘박중 GPS 화면상의 현재 위치변화는 없고 단지 GPS의 다른 기능들만을 화

면에 출력하게 된다. 하지만 시뮬레이션을 시작하면서 가상적인 선박의 움직임을 표현하려면 선박의 운동을 표현해주는 수학모델이 필요하게된다. 그러므로 본 시스템에서는 이미 개발되어있는 다음과 같은 수학모델을 활용하여 프로그래밍 하였다. 그 결과 선박의 움직임을 현재위치로 나타내주는 것이 가능하게 되었다.

본 시스템 구축에 사용된 선체운동 수학 모델은 McCallum에 의해 개발된 'Heuristic Type Mathematical Model'이다. 이 모델은 유체동력학적인 도함수를 사용한 모델과는 달리 선박운동 시스템을 블랙 박스로 가정하여 도출한 간단한 방정식을 이용하여 선박의 동작을 표현하는 모델이다. 이 모델은 직접적인 접근방법을 사용하기 때문에 상대적으로 실행이 간단하고 사용자의 호응도도 매우 높다. 또한, 이 모델은 변환이 간단하고 거의 자동적인 방법으로 새로운 모델 혹은 수정된 모델을 만드는 것이 가능하다. 이 모델에 대한 정확성과 효용성은 이미 많은 연구에서 입증된 바 있다.<sup>5)</sup>

Fig.4는 본 시뮬레이션 시스템에 적용된 선박운동방정식 수학모델, 항법계산, 위치변환에 관한 각 데이터의 흐름을 개략적인 도식으로 나타낸 것이다.

선박운동방정식 수학모델의 환경변수인 바람과 조류, 파도의(해상상태) 영향은 선박의 위치정보가 주 내용이 되는 GPS 시스템특성 및 정밀한 선박의 움직임을 굳이 본 시뮬레이터 연구개발목적에 커다란 영향을 끼치지 않으므로 입력 및 출력에서 제외하고 프로그래밍 하였다.

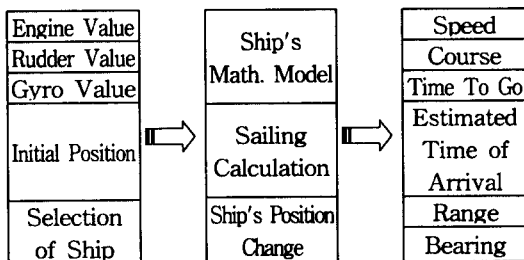


Fig. 4 Data Flow Diagram of GPS Simulation System

### 2.3.2 선박의 위치변환

시스템에 설계되어 있는 선체운동방정식에 엔진 값과 타각값 및 초기침로를 설정하여 준 다음 시뮬레이션을 시작하면 선박은 자신의 속력과 방향을 갖고서 움직이게된다. 이때에 선박의 선수미방향 거리와 정횡방향 거리가 계산되어 나오게되고 이것을 벡터합성하면 선박이 이동한 거리를 알 수 있고 이 값을 초기설정 출발위치인 경·위도값에 더해 줌으로써 새로운 위치의 경·위도를 산출해 낼

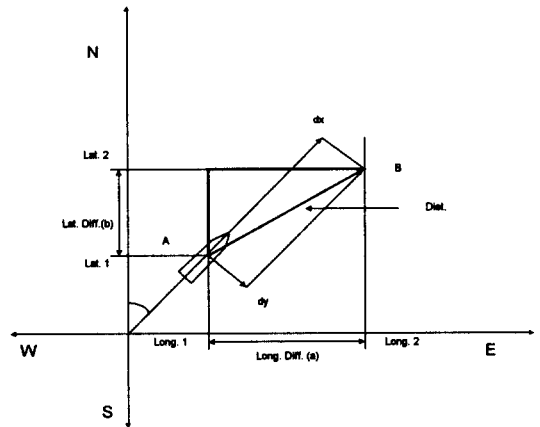


Fig. 5 Calculating the New Position (From Dept. Position to Arrival Position)

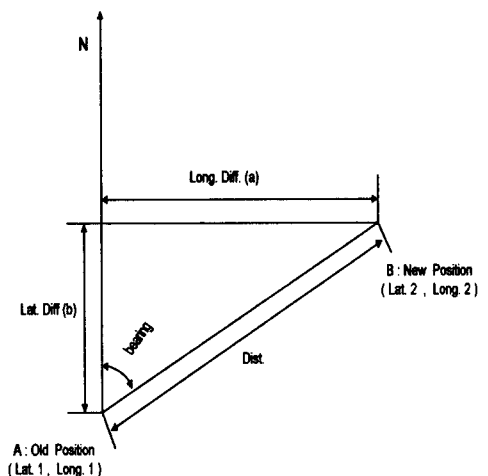


Fig. 6 Calculating the New Position

수 있다. Fig. 5는 이러한 위치변환 관계를 쉽게 나타낸 것이다.

Fig. 5와 Fig. 6에 표현된 선박의 위치변환에 관한 2개의 그림을 참고로 하여 살펴보면, 선박운동 방정식 계산 결과에 의하여 먼저, 선속미방향 이동 거리와 정횡방향 이동거리를 이용하여 선박의 이동거리를 구한다. 그리고, 선박의 이동침로를 구하여 초기위치에서의 위도의 변화량과 경도의 변화량을 구한 뒤 이 값을 초기위치 위도값 및 경도값에 더해지면 새로운 위치를 얻어낼 수 있게된다. 식(4)와 식(5)는 위와 같은 연산과정을 수식으로 나타낸 것이다.

$$\text{Dist.} = \sqrt{(\text{dx})^2 + (\text{dy})^2} \text{ [m]} \dots\dots\dots(4)$$

$$\theta_1 = \theta + \tan^{-1} \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots(5)$$

단,  $\theta$ 는 침로,  $\theta_1$ 는 이동침로

만약 선박의 진침로가 동( $\pi/2$ ) 또는 서( $3\pi/2$ ) 방향일 때는 위도의 변화가, 그리고 침로가 북( $2\pi$ ) 또는 남( $\pi$ )방향일 때는 경도의 변화가 없게되며, 식(6), 식(7), 식(8), 식(9)는 선박의 진침로를 구하는 식이다.

$$\text{If } (0^\circ < \theta \leq 90^\circ) \text{ then } \theta_1 = \theta + \tan^{-1} \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{If } (90^\circ < \theta \leq 180^\circ) \text{ then } \theta_1 = 180 - (\theta + \tan^{-1} \frac{dy}{dx}) \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{If } (180^\circ < \theta \leq 270^\circ) \text{ then } \theta_1 = -180 + (\theta + \tan^{-1} \frac{dy}{dx}) \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{If } (270^\circ < \theta \leq 360^\circ) \text{ then } \theta_1 = -(\theta + \tan^{-1} \frac{dy}{dx}) \dots\dots\dots(9)$$

위의 식에서 구한 진침로값을 식(10)과 식(11)에 대입하면 위도와 경도의 변화량을 알 수 있다.

$$\text{Long.Diff. (a)} = \frac{\text{Dist.}/\text{Nmile} \cdot \sin \theta_1}{60 \cdot \text{Rtod}} \dots\dots(10)$$

$$\text{Lat.Diff. (b)} = \frac{\text{Dist.}/\text{Nmile} \cdot \cos \theta_1}{60 \cdot \text{Rtod}} \dots\dots(11)$$

단,  $\text{Rtod} = 57.3$  (Radian to Degree)

$$\text{Lat.2} = \text{Lat.1} + \text{Lat.Diff. (b)} \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{Long.2} = \text{Long.1} + \text{Long.Diff. (a)} \dots\dots\dots(13)$$

단,  $A = (\text{Lat.1}, \text{Long.1})$

$B = (\text{Lat.2}, \text{Long.2})$

위의 식(10)과 식(11)은 MKS 단위계로 계산된 항적을 해리(Nautical mile)로 바꿔 주었고, 라디안 값을 도로 변환시켜서 경도와 위도의 변화된 값을 구하여, 식(12)와 식(13)에 대입하여 주면 새로운 선박의 위치를 얻을 수 있게된다. 실체는 선박운동 수학모델에서 정횡방향의 이동거리는 미소하므로 무시하여도 위치변화에는 큰 영향이 없다고 본다.

이상과 같은 과정을 계산하면 초기 출발위치를 시점으로 한 현재위치를 알아낼 수 있게되고 이 위치를 시뮬레이터 화면상에 표시해주도록 하면 된다.

Fig. 7은 현재위치와 새로운 위치와의 관계를 나타낸 것으로, 침로(C), 거리(Distance), 속력(Speed), 방위(Bearing), 새 위치로부터 다음 Waypoint와의 거리, 코스에러(Course Error), Track Error 등을 개략적으로 파악할 수 있는 그림이다.

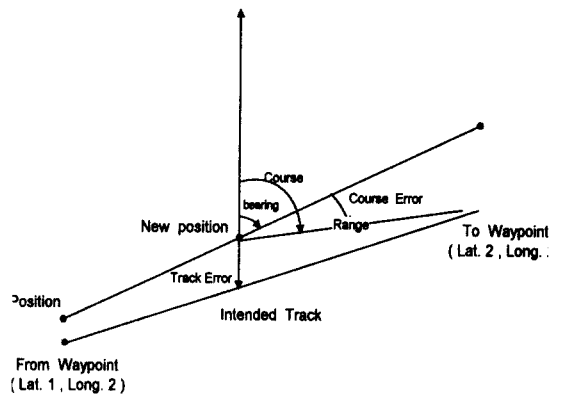


Fig. 7 Data Associated With The New Position

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 개요

본 시뮬레이션 시스템은 GPS수신기의 기능 중에서 위치정보와 항해에 관련되는(항행계획에 관한) 주요기능을 중점적으로 설계 개발하였다.

시뮬레이터의 운영과 화면구성은 비주얼베이직 프로그램으로 설계하였고, 시작화면, 시뮬레이션 실행화면, 종료화면의 3개의 화면으로 구성되어 있다.

Fig. 8은 시작화면을 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 실행하면 먼저 이 화면이 나타나고, 시작여부와 시스템에 관한 정보를 묻는다. 그리고, 마우스로 'OK'버튼을 클릭하면, 시뮬레이션 본 화면으로 바뀌게 된다. Fig. 9는 시뮬레이터의 본 화면을 나타낸 것이다. 여기서, 실제로 시뮬레이션을 실행할 수 있는 상태가 되며 엔진값과 타각 그리고, 원하는 침로 및 출발지점의 위도와 경도를 입력해주면 선박운동에 관한 내부함수호출에 의해서 시스템이 구동되며 선박의 위치는 출발지 경·위도 설정값을 기준으로 선박위치변환(경·위도변환)과정을 거쳐서 화면상에 새로운 경·위도로 현재 선박 위치가 출력되어 나타나게된다. 시스템구동 중에 움직임을 정지할 수도 있게 하였으며, 재설정 버튼을 사용하여 위의 입력사항을 재설정해 준 다음 시작 버튼을 클릭하면 그 위치를 새로운 출발지점으로 하여 정지상태에서 다시 시스템이 구동되도록 하였다. 시뮬레이터 실행 도중에 수신기 화면에 포함된 각 버튼을 이용하여 시뮬레이션 환경을 바꿀 수 있도록 설계하였고, Fig. 10은 시뮬레이션 초기환경을 바꾸는 화면을 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 종료하고자 할 때는 전원 온-오프(Power On/Off) 스위치를 클릭하여 실행을 종료할 수 있도록 하였다. Fig. 11은 본 시뮬레이션을 종료할 때의 화면을 나타낸 것이다. 종료화면에서는 종료여부를 묻는 메시지가 나타나고, "예" 버튼을 선택하면 시뮬레이션을 종료할 수 있도록 프로그래밍하였다.

시뮬레이션의 주 메뉴에 해당하는 각 기능버튼은 화면 우측에, 입력기능을 가진 버튼은 화면 하

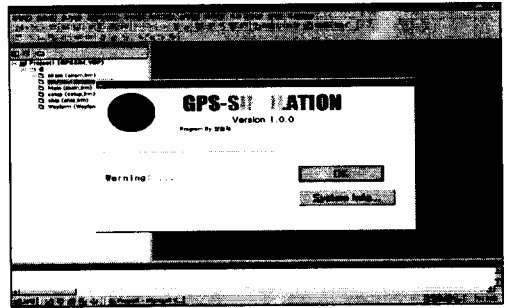


Fig. 8 Starting Dialog Box

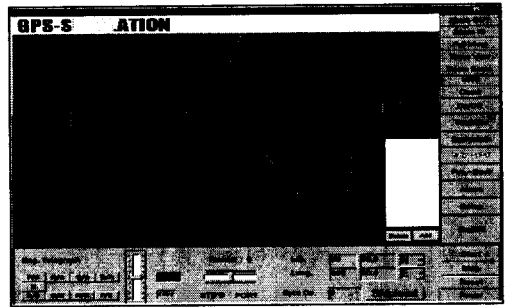


Fig. 9 Main Screen of GPS Simulator

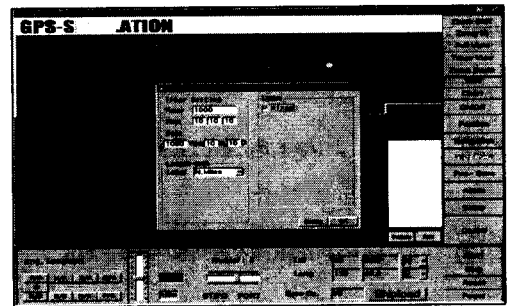


Fig. 10 Setup Dialog Box

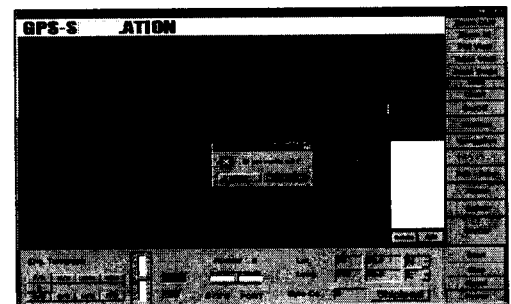


Fig. 11 Finishing Dialog Box

단에 배치하였다. 그리고, 수신기의 출력 내용은 화면중앙에 표시하도록 하였고, Plot화면은 화면상단에 각각 구분하여 전체화면을 구성하였다.

화면에 표시되어있는 버튼은 해당되는 정보만 표시하여주는 수동적인 모드와 직접 데이터를 입력하는 능동적인 모드가 있다. 본 시뮬레이터에서 Zoom Scale, Chart, Navigation, Waypoint, Alarm, Setup, Shipload(Lat., Long., Gyro)버튼이 데이터를 입력할 수 있는 기능을 가지고 있다. 실제 수신기에서 데이터를 입력하거나 수정할 때 사용하는 방향키(Key), 숫자입력, 한글·영문 대소문자 입력 등 시뮬레이터를 운영하는데 필요한 모든 입력은 컴퓨터 키보드와 마우스를 사용해서 하도록 설계되었다.

### 3.2 시뮬레이션 실행

시뮬레이션을 시작할 때 본 시스템이 교육용 시뮬레이터란 점을 감안하여 사용자가 실제 GPS수신기의 설치과정과 같은 절차를 거치도록 하여, 설치 첫시작(First Start Setup)에 필요한 입력요소인 시간, 본선의 현재위치(위도 및 경도) 그리고 본 시뮬레이션에 추가된 입력요소로서 엔진값과 타각, 출발 침로를 시뮬레이터 화면상에서 설정하도록 하였다.

본 시뮬레이터에 사용된 선박은 LNG선을 모델 선박으로 하였으며 항법계산은 항정선항법인 점장 위도항법을 사용하였다. 추후에 실제선박의 운동성능을 가진 여러 선박을 데이터베이스화하여 사용자가 다양하게 선택하여 시뮬레이션을 할 수 있도록 하고, 항법계산도 항해계획에 따라서 대권항법과 항정선항법을 사용자가 선택하여 활용할 수 있도록 여유를 두고 설계하였다.

실제 GPS의 가장 핵심기능인 본선의 위치정보에 초점을 두고 출발지와 목적지 또는 변침점과의 관계를 거리, 방위, 소요시간, 도착예정시간 등으로 화면상에 표시하여 사용자가 GPS수신기의 각 기능을 쉽게 볼 수 있고, 익힐 수 있도록 하였다.

### 3.3 시뮬레이션 종료

GPS시뮬레이션 시스템에 데이터베이스화된 변

침점, 목적지에 도착하면 알람이 울리도록 설계하였고, 목적지 도착과 함께 알람이 울리고 종료할 것인지 여부를 묻는 메시지가 화면상에 표시되며 계속실행과 종료여부를 사용자가 클릭하여 선택할 수 있도록 하였다. 그리고 시뮬레이션 실행 중에 언제든지 종료가 가능하도록 전원 온-오프 스위치를 설계하였기 때문에 원한다면 어느때라도 시뮬레이션을 종료할 수가 있게된다. 이때에도 시뮬레이션을 종료 메시지와 함께 종료하도록 설계하였다.

## 4. 결 론

본 연구는 개인용 컴퓨터에서 운영되는 시뮬레이터를 개발함으로써, 누구나 손쉽게 GPS수신기의 각 기능에 대해서 파악하고 이해하며 익힐 수 있도록 하였다. GPS는 타 항해장비에 비하여 비교적 조작이 간단한 장비이지만 실제 선박이 항행하는데 선위확보라는 중요한 역할을 담당하고 있어서 필수적인 항해장비이며 그 사용이 급증하고 있다. 정보화시대에 컴퓨터와 친숙할 수 있는 기술훈련, 다양한 분야에서 활용되고있는 장비로써 교육상 역할과 많은 부가효과도 기대할 수 있다. 특히 해기사에게 필요한 각종 항행정보를 활용하는 지식과 여타 다른 항해장비의 구성, 기능 및 작동법을 이해하고 익혀서 관련 지식을 축적할 수 있고 시뮬레이터 실습의 하나로써 높은 가치가 있다고 할 수 있겠다.

본 시뮬레이터의 특징은, 실제 GPS시스템의 운영방법과 거의 비슷하고, 시뮬레이터 운영이 간단하다. 또한 선박의 움직임을 나타낼 수 있도록 선박운동의 수학모델을 이용하여 엔진값 및 타각을 입력하고, 출발위치입력란에 위도, 경도를 입력하면 그 지점의 위치를 출발점으로해서 위치의 변환이 이루어지도록 내부함수를 만들어서 실행되게 하였다. 그리고 PLOT화면을 설계하여 선박의 Plotting 상황(항적) 디스플레이 하도록 하였으며 선박종류, 해도, 항해, 변침점, 저장 등 각 기능에 대한 데이터베이스 관리가 가능하도록 여유를

두고 설계하였다.

본 연구에 대한 기대효과는 더욱 다양한 GPS 기능과 정밀한 동작으로 FMSS(Full Mission Ship Handling Simulator), 종합항법시뮬레이터(Integrated Navigation Simulator), ARPA Radar Simulator, ECDIS 등의 해기관련 시뮬레이터 교육장비에 결합하여 활용하는 것이다.

이상과 같은 특징을 가지고있는 본 시뮬레이터를 실제 실행하여본 결과 의도하였던 바대로 작동하였으며, 각 기능의 조작 결과가 화면상에 실시간 표시되었고, 선박의 움직임에 따른 위치변화 및 관계정보가 화면상에 표시되었다.

본 연구에 대한 향후 연구과제는 선박의 위치결정에 영향을 미치는 조류, 바람, 해상상태 등 제요소를 포함하여 보다 정확한 선위를 확보하고 현재 위치를 시뮬레이터 화면상에 표시하도록 하는 것과, Chart 데이터 베이스 활용, 좌표변환에 관한 기술적인 사항, 그리고 Zoom 기능에 대한 추가 연구라고 생각한다. 아울러서 교육용으로 개발된 목적에 적합하도록 시뮬레이터 디자인과 네트워크 구성도 필요할 것이다.

### 참고문헌

1. 1978 STCW협약 부속서 개정규정 제1장 제12조 시뮬레이터의 이용, 제A편(부속서 규정에 관한 강제규정) A-1/12조 : 적용기준, 성능기준, 기타 규정, 제B편(부속서 규정에 관한 권고지침) B-1/12조 : 이용에 관한 지침
2. B. Hofman - Wellenhof, H. Lichtengger and J. Collins, " Global Positioning System Theory and Practice", Springer-Verlag Wien New York p.13~14 1993.
3. Tom Logsdon, " The Navstar Global Positioning System", Van Nostrand Reinhold, p.17~18, 1992.
4. 윤여정, "지문항해학" 한국해양대학 해사도서출판부, p.187~188, 1987.
5. 임남균, "ARPA Radar Simulator 개발에 관한 연구" 석사학위논문, p.37, 1998.